DOI: 10.22067/geography.v18i1.84891
مقالهٔ پژوهشی - مطالعه موردی

چشم‌انداز تغییرات اقلیم‌شناختی دما و بارش در دامنهٔ CORDEX جنوب آسیا (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز دز)

الهه عسگری(دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)
elaheh.asgari2011@gmail.com
محمد باعقیده (دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسندهٔ مسئول)
m.baaghideh@hsu.ac.ir
اصغر کامیار(دکتری اقلیم‌شناسی، اداره کل هواشناسی استان اصفهان، اصفهان، ایران)
asgharkhuzani@gmail.com
علیرضا انتظاری (دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)
entezari@hsu.ac.ir
مجید حسینی(دانشیار آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران)
mjhossaini@gmail.com

صص ۲۵۲ ـ ۲۲۵

چکیده

اهداف: از آنجایی که بررسی تغییرات اقلیمی، ارائهٔ راهکارهای مناسب سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم در هر منطقه نیازمند پیش‌نگری صحیح متغیرهای اقلیمی در آن منطقه است؛ هدف این مقاله ارزیابی دقت مجموعه مدل‌های گردش کلی پایگاه CORDEX (جنوب آسیا) در شبیه‌سازی دما و بارش به‌عنوان متغیرهای تاثیرگذار در جریان حوضه آبخیز دز است.

روش: جهت پیش‌نگری دما و بارش حوضهٔ مذکور، دقت ۱۷ مدل گردش کلی پروژهٔ CORDEX – WAS (جنوب آسیا) مورد ارزیابی قرار گرفت. از روش عامل تغییر برای تصحیح خطای داده‌های شبیه‌سازی شده در دورهٔ تاریخی و آینده و از نمرهٔ مهارت (SS) برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده شد. شبیه‌سازی این پارامترها برای سه دورهٔ ۲۰ ساله (۲۰۹۹ – ۲۰۸۰، ۲۰۶۹ – ۲۰۵۰ و ۲۰۳۹ – ۲۰۲۰) و تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه‌های منتخب انجام شد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

یافته‌ها/ نتایج: خروجی‌ها نشان داد شبیه‌سازی مدل‌ها با خطا همراه است و باید قبل از استفاده از آن‌ها در مطالعات تصحیح شوند. براساس (SS) یک مجموعهٔ ده تایی با نمرهٔ مهارت بالا انتخاب شد. اگرچه نتایج مدل‌های انتخابی بیانگر کاهش ۱۱ تا ۱۷ درصدی بارش سالانه برای سناریو RCP4.5 و ۸ تا ۱۸ درصدی برای سناریو RCP8.5 در حوضهٔ مورد مطالعه است، ولی بارش فصل پاییز در این محدوده تغییرات افزایشی را نشان می‌دهد. خروجی دمای حداکثر حوضه برای سناریوی انتشار RCP4.5 افزایش ۱/۵ تا ۳ درجه و برای سناریو بدبینانه RCP8.5 افزایش ۱/٦تا ۵/۸ درجهٔ سلسیوس را پیش‌نگری می‌کند. این افزایش برای دمای حداقل برای سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب مابین ۱/۵ تا ٤/۲ و ۲/۷ تا ۵/۳ درجه سلسیوس در تغییر است.

نتیجه‌گیری: به طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر آن است که این محدوده در دهه‌های آتی به سمت اقلیمی با رطوبت کمتر و دمای بیشتر پیش می‌رود.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، تصحیح خطا، نمرهٔ مهارت (SS)، حوضهٔ آبخیز دز، CORDEX.

۱. مقدمه

پدیدهٔ تغییر اقلیم و تأثیرات آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در بخش‌های کشاورزی و منابع آب است. بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام شده و در حال انجام در زمینهٔ آب، از آخر قرن بیستم معطوف به بررسی این پدیده، اثرات و ارائهٔ راهکارهایی در جهت سازگاری و کاهش تأثیرات آن بوده است (فوهر[1]، ۲۰۰۳، ص. ۳). دستیابی به این هدف نیازمند پیش‌نگری‌های صحیح متغیرهای اقلیمی در هر منطقه است تا با کسب آگاهی در این زمینه، توسعهٔ استراتژی‌های مناسب و موثر صورت گیرد (تراندو، کلر و استرلینگ[2]، ۲۰۱۲، ص. ۳۹). اما پیش‌نگری‌های صحیح متغیرهای اقلیمی متکی به مدل‌های گردش کلی است. اکنون در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم ابتدا نیاز به به کارگیری یک یا چند مدل GCM و

1. Fuhrer
2. Terando, Keller, & Easterling

سپس ریزمقیاس‌نمایی (یا تصحیح خطا) نتایج به منطقهٔ مورد نظر است (پیرس، بارنت، سانتر و گلکلر[1]، ۲۰۰۹، ص. ۸٤٤۳). اما سؤالی که در این‌گونه مطالعات مطرح می‌شود این است که با وجود تعدد زیاد مدل‌های GCM و همچنین عدم قطعیت در خروجی و نتایج متفاوت آن‌ها برای هر منطقه، در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم، این مدل‌ها چگونه باید انتخاب شوند (برکل، دتینگر، مرر و آندرسون[2]، ۲۰۰۸، ص. ۳۷۱). یک رویکردی که به طور فزاینده‌ای از آن استفاده می‌شود، تعریف معیارهایی برای مهارت مدل و تعیین کیفیت آن‌ها براساس توانایی‌های‌شان در شبیه‌سازی‌ها می‌باشد (سگر و همکاران[3]،۲۰۰۷، ص. ۱۱۸۱). که از این رویکرد در این پژوهش استفاده شد و با تعریف معیارهایی، عملکرد مدل‌های GCM ارزیابی گردید. قدرت تفکیک GCMs در پروژهٔ CMIP5 معمولا بین ۱ تا ۲ درجه طول و عرض جغرافیایی است و نمی‌تواند اطلاعات قابل قبولی ارائه کند. بنابراین، به ریزمقیاس‌نمایی سناریوهای آب و هوایی در سطح ملی نیازمندیم. این مهم را می‌توان با ریزمقیاس‌نمایی دینامیک و به کمک یک مدل منطقه‌ای آب و هوا (RCM)، انجام داد. در سال‌های اخیر مؤسسهٔ WCRP[4] در اقدامی هماهنگ با برنامهٔ بین‌المللی ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ای (CORDEX)[5] به منظور تولید مجموعهٔ چند عضوی داده‌های ریزمقیاس‌نمایی شده، از خروجی مدل‌های آب و هوای منطقه‌ای مختلف در پروژهٔ CMIP5 استفاده کردند که هدف شناسایی تغییرات منطقه‌ای اقلیم و ارائهٔ راه‌کارهای سازگاری با آن بود (گورگی، جونز و اسرار[6]، ۲۰۰۹، ص. ۱۷۸). در پروژهٔ CORDEX پهنه‌های خشکی زمین به ۱٤ بخش تقسیم و خروجی مدل‌های اقلیم جهانی با دقت مکانی ۰/٤٤، ۰/۲۲ و ۰/۱۱ درجهٔ قوسی تولید می‌شوند. همچنین، دقت زمانی خروجی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی مورد استفاده در این طرح، شامل داده‌های سه ساعته، شش ساعته، روزانه و در نهایت داده‌های ماهانه و فصلی است. علاوه بر افزایش دقت مکانی و زمانی در مدل‌ها، تعداد و نوع متغیرهای ورودی و در نتیجه متغیرهای ریزمقیاس شده و محاسبه شده نیز افزایش قابل توجهی یافته است (تیلور، رونالد و گرالد[7]، ۲۰۱۲، ص. ٤۹۰). بنابراین، انتظار می‌رود مجموعه مدل‌های این پروژه مبنای بسیاری از مطالعات ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم قرار گیرد.

---

1. Pierce, Barnett, Santer, & Gleckler
2. Brekke, Dettinger, Maurer, & Anderson
3. Seager, Ting, Held, Kushnir, Lu, Vecchi, & Li
4. World Climate Research Program
5. Coordinated Regional climate Downscaling Experiment
6. Giorgi, Jones, & Asrar
7. Taylor, Ronald, & Gerald

۲.پیشینهٔ تحقیق

بررسی‌های متعددی از خروجی‌های مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا پروژهٔ CORDEX در نواحی مختلف جهان انجام شده است که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: عملکرد ۱۰ مدل اقلیم منطقه‌ای CORDEX در شبیه‌سازی الگوهای بارندگی در شرق آفریقا به صورت منفرد و گروهی مورد بررسی قرار گرفت خروجی‌ها حکایت از توانایی‌های ترکیبی این مدل‌ها در برآورد بارش این منطقه در آینده دارد (اندریس و همکاران[1] ، ص. ۸٤۵۳). ارزیابی تغییرات سالانهٔ بارش در جنوب مکزیک و آمریکای مرکزی و ارتباط آن با دمای سطح دریا (SST)[2] در اقیانوس اطلس و آرام با استفاده از مجموعه شبیه‌سازهای CMIP5 و RegCM4 CORDEX نشان داد که رابطهٔ بین بارش و SSTدر دورهٔ حاضر، تحت شرایط آب و هوایی آینده تغییر نمی‌کند (فوئنتس همکاران،[3] ۲۰۱۳، ص. ٤۲۵).

شانگو و همکاران[4](۲۰۱۵، ص. ۱۹۹) در پژوهشی به بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده بارش ماهانه در محدودهٔ CORDEX – Africa با ۱۰ مدل اقلیم منطقه‌ای در بازهٔ ۲۰۰۷ – ۱۹۹۱ پرداختند؛ نتایج مقایسهٔ داده‌های شبیه‌سازی با مشاهداتی کارایی مناسب همه مدل‌ها را به ویژه در شمال محدودهٔ مورد مطالعه نشان داد.

ایچ و همکاران[5] (۲۰۱۷، ص. ۱) به ارزیابی تغییرات اقلیمی گذشته و آیندهٔ افغانستان با استفاده از عملکرد ۱۲ مدل اقلیم منطقه‌ای CORDEX - South Asia پرداختند که در این راستا علاوه بر دما و بارش از ۵ شاخص اقلیم – کشاورزی تحت دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 نیز استفاده کردند. خروجی‌ها نشان داد که میانگین دما در گذشته نسبت به میانگین جهانی ۱/۸ درجهٔ سلسیوس افزایش داشته است. همچنین نتایج مدل‌های آب و هوایی در دوره‌های آتی نیز گویای آن است که این روند افزایش دما با توجه به وابستگی آن به میزان انتشار دی‌اکسید کربن بین ۲/۳ تا ٦/٤ درجهٔ سلسیوس برای RCP8.5 متغیر است. از سوی دیگر کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق، شدت تنش‌های موجود در افغانستان را افزایش خواهد داد و آنان خواستار تأکید بر سازگاری مناسب با تغییرات آب و هوایی شدند.

1. Endris, Omondi, Jain, Lennard, Hewitson, Chang'a, & Panitz
2. sea surface temperature
3. Fuentes-Franco, Coppola, Giorgi, Pavia, Diro, & Graef
4. Shongwe, Lennard, Liebmann, Kalognomou, Ntsangwane, & Pinto
5. Aich, Akhundzadah, Knuerr, Khoshbeen, Hattermann, Paeth, & Paton

اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در چهار شهر ساحلی آفریقا (کیپ تاون، ماپوتو، لاگوس و پورت سعید) با استفاده از ١٦ مدل اقلیم منطقه‌ای نشان داد که مدل‌ها، شبیه‌سازی واقعی از ویژگی‌های بارندگی شدید را در شهرها ارائه می‌دهند. از دیگر نتایج این مطالعه کاهش روزهای مرطوب و افزایش دوره‌های خشک در هر چهار نقطه و افزایش شدت و فرکانس رخدادهای شدید بارش تنها در لاگوس می‌باشد (عابیدون و همکاران[1]، ۲۰۱۷، ص. ۳۹۹).

تغییرات دما و بارش فصلی مرکز آسیا (CORDEX-Central Asia) برای سه دورهٔ نزدیک، میانه و دور و با استفاده از عملکرد دو مدل HadGEM2-ES و MPI-ESM-MR مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان از افزایش ۳ تا ۷ درجهٔ سلسیوس دما برای دورهٔ ۲۱۰۰ – ۲۰۷۰ و کاهش بارش برای منطقهٔ مورد مطالعه دارد. این بررسی نیز برای CORDEX - Middle East (خاورمیانه) و North Africa (MENA)(منا) انجام شد که خروجی‌های آن گویای افزایش ۳ تا ۹ درجهٔ سلسیوس دما و کاهش شدید بارش و خشک شدن منطقهٔ مورد مطالعه داشت (اختارک، ترپ، تورکس و کرناز[2]، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸). سعید، آلمازوری، اسلام و خان[3] (۲۰۱۷، ص.١٦٣٥) در پژوهشی به ارزیابی اثرات تشدید امواج گرمایی در آینده با استفاده از سه مدل‌های منطقه‌ای CORDEX در پاکستان پرداختند. دو رویکرد متفاوت (ثابت و نسبی) برای ارزیابی امواج گرمایی در نظر گرفته شد، رویکرد ثابت زمانی است که درجه حرارت به بیش از ٤٥ درجهٔ سلسیوس برسد و برای مدت چندین روز ادامه یابد که بسیار خطرناک است و رویکرد نسبی که ممکن است به طور مستقیم تهدیدکنندهٔ زندگی نباشد، اما باعث ذوب برف و یخ و افزایش سیلاب شود و به ترتیب بر امنیت غذایی کشور در فصل تابستان و زمستان تأثیر بگذارد. نتایج نشان از وقوع رویکرد ثابت در مناطق شرقی (دشت‌های پنجاب و سند) و رویکرد نسبی در مناطق شمالی (نواحی با برف و یخ بسیارکه ذوب آن در تابستان سبب طغیان و سیلاب می‌شود) دارد.

سانجای، کریشنان،شرستا، رجبهندری و رن[4] (۲۰۱۷، ص. ۱۸۵) از مدل‌های ترکیبی پروژهٔ CORDEX-Southeast Asia برای بررسی جنبه‌های کیفی تغییرات آینده میانگین فصلی دما و بارش هندوکش هیمالیا تحت دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 برای دو دوره استفاده کردند. نتایج حکایت از افزایش ٥/٤ درجهٔ سلسیوس دما در زمستان نسبت به تابستان و افزایش ۲۲ درصدی بارش‌های

1. Abiodun, Adegoke, Abatan, Ibe, Egbebiyi, Engelbrecht, & Pinto
2. Ozturk, Turp, Türkeş, & Kurnaz
3. Saeed, Almazroui, Islam, & Khan
4. Sanjay, Krishnan, Shrestha, Rajbhandari, & Ren

فصلی مونسون تابستانی دارد. وارناتچ و ریدی[1] (۲۰۱۹، ص. ۳۷۸) در تحقیقی به ارزیابی توانایی مدل‌های گردش کلی (GCMs) و مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای (RCMs) برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در مالاوی پرداختند نتایج نشان داد که این مدل‌ها تغییرات روند در متغیرهای دما را بخوبی شبیه‌سازی کردند ولی خروجی‌های شبیه‌سازی شده برای بارش تغییرپذیری بالایی داشت. کامیار، موحدی و یزدان‌پناه (۱۳۹٦، ص. ۳۷) در پژوهشی به بررسی چشم‌انداز دمای کمینه و بیشینهٔ استان اصفهان در افق زمانی (۲۰۵۰ – ۲۰۱۷) تحت دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 پرداختند. نتایج حاکی از روند افزایشی این دو پارامتر برای هر دو سناریو در دهه‌های آتی است. ارزیابی دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای دو محدودهٔ CORDEX – WAS (جنوب آسیا) و CORDEX – MNA (منا) برای ایران نشان داد که مدل‌های موجود در برنامهٔ CORDEX برای بارش همبستگی زیادی با داده‌های مشاهداتی ندارد ولی برای دو پارامتر دمای حداقل و حداکثر همبستگی بالا و خطای کمتر از یک درجه سلسیوس را نشان می‌دهد (کامیار، یزدان‌پناه و موحدی، ۱۳۹۷، ص. ۱٦۱). واکاوی اثرات اقلیمی دما و بارش بر وضعیت منابع آبی نسبت به پارامتر جمعیت در حوضهٔ آبریز خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از پروژهٔ CORDEX نشان داد که در هر سه مدل اقلیمی EARTH-EC، CNRM و GFDL، حوضهٔ آبریز مند و کل – مهران به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تنش آبی را نسبت به پارامتر جمعیت در دهه‌های آتی خواهند داشت. (خوش‌بیان، عراقی‌نژاد و آقاشریعتمداری، ۱۳۹۸، ص.٦۱٦).

اثرات تغییراقلیم بر منابع آب به‌عنوان موضوعی چالش برانگیز در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح بوده به طوری که هیأت بین الدول تغییر اقلیم بیان می‌دارد که منابع آب قابل دسترس در منطقه خاورمیانه تحت اثر تغییرات اقلیمی، در وضعیت هشدار قرار دارند (IPCC,2007). انتظار می‌رود که تغییر در متوسط متغیرهای اقلیمی (به ویژه دما و بارندگی) تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد، به گونه‌ای که طبق مطالعات قبلی صورت گرفته، تغییرات ۱۰ درصدی میزان نزولات جوی عمدتا منجر به تغییرات ۱۵ تا ۲۵ درصدی جریان رودها می‌شود، و این در حالی است که افزایش دو درجهٔ سلسیوس دما معمولا منجر به کاهش ۵ تا ۱۲ درصدی جریان‌ها می‌گردد (ژانگ، وانگ، هی و لیو[2]،۲۰۰۹، ص. ۱۵۵؛ لیوزو، نوتو، ویونی و لالوژیا[3]، ۲۰۱۰، ص. ۱۱۰). متأسفانه کشور

1. Warnatzsch& Reay
2. Zhang, Wang, He, & Liu
3. Liuzzo, Noto, Vivoni, & La Loggia

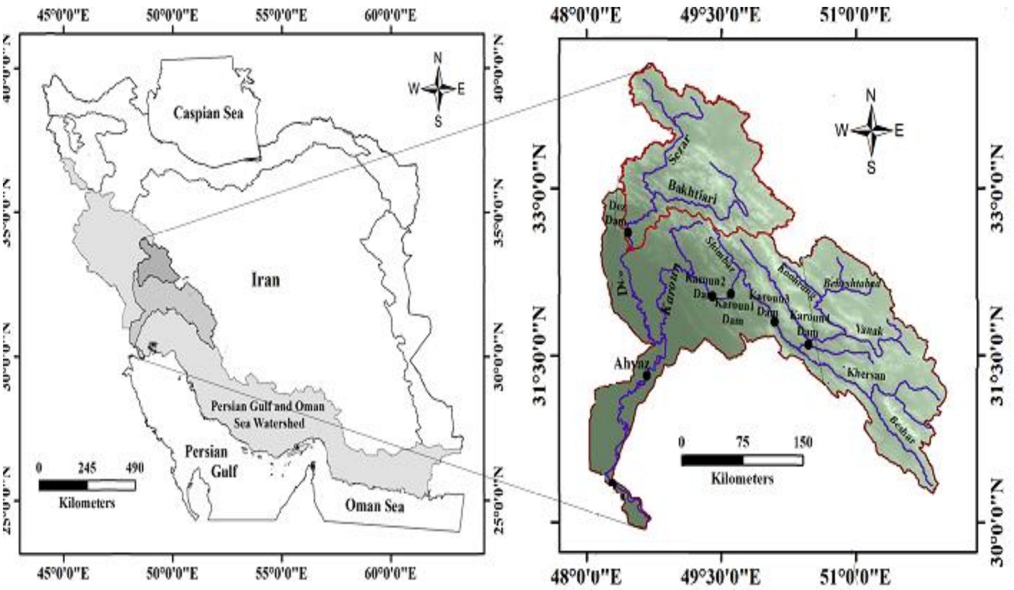
ایران نیز از این تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور مشاهده شده است. حوضهٔ آبخیز دز از زیر حوضه‌های کارون بزرگ از نظر آب و هوایی جزو منـاطق نیمه‌خشک کوهستانی ایران محسوب می‌شود که سد دز به‌عنوان سومین سد مرتفع ایران (پنجاهمین سد بلند دنیا) با متوسط آورد طبیعی ۲۷۰ متر مکعب در ثانیه، در انتهای آن واقع شده است (موسوی و معرفی، ۱۳۹۵، ص. ۳۳۵).

جریان‌های سطحی و ذخیره‌ای این حوضه در اقتصاد کشاورزی، تولید انرژی، صنعت و شرب در مقیاس منطقه‌ای و ملی بسیار تعیین کننده بوده است. از آنجا که تغییر اقلیم سبب تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی شده و این امر بر دسترسی به منابع آب سطحی در این منطقه اثرگذار بوده آگاهی از تغییرات و پیش‌نگری این پارامترها در آینده امری ضروری است. برخـی از مطالعـات در رابطـه بـا بررسـی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه‌های آبخیز ایران در دوره‌هـای اخیـر و آتـی بـر اساس مدل‌های ارزیابی گزارش چهارم و گزارش پنجم (CMIP3 , CMIP5) انجام پذیرفته است که دارای قدرت تفکیک‌پذیری پایین است (جوان، نصیری صالح و طاهری شهریانی، ۲۰۱۳، ص. ۳۰۰). بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌هـای آبخیـز توسط مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا و به ویژه توسط مدل‌هـای پایگاه CORDEX امری ضروری به نظر می‌رسد. به طوری‌کـه مـدل‌هـای فـوق درکی بهتر از این مناطق در دوره‌های زمانی آتی نسبت به مـدل‌هـای پیشین برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب فراهم می‌نماید. ازاین‌رو هدف کلی این مقاله ارزیابی توانایی مجموعه مدل‌های برنامه CORDEX در شبیه‌سازی دما و بارش به عنوان متغیرهای تاثیرگذار در جریان حوضه آبخیز دز است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبخیز رودخانه دز به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ٤٨ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه ۲۱ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۱ درجه و ٣٤ دقیقه تا ٣٤ درجه ۷ دقیقهٔ عرض شمالی واقع شده است. مساحت کل حوضه بالغ بر ۲۱۷۲۰ کیلومترمربع و متوسط ارتفاع آن حدود ١٦٠٠ متر می‌باشد. منطقهٔ مورد مطالعه قسمتی از حوضهٔ آبخیز در بالادست سد دز به مساحت ١٧٣٦٥ کیلومترمربع است.



شکل ۱-موقعیت حوضهٔ آبخیز دز در حوضهٔ کارون بزرگ

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

۳. ۲. روش تحقیق

داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دما و بارش روزانهٔ ایستگاه‌های الیگودرز، بروجرد، اراک، خرم‌آباد، کشور، دزفول، کوهرنگ، سازمان آب بروجرد و زردفهره در بازه زمانی ۲۰۰۵ – ۱۹۸۶ است که از شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کل کشور تهیه گردید (جدول ۱). شبیه‌سازی ۱۷ مدل گردش کلی پروژهٔ CORDEX - WAS (جنوب آسیا) از پایگاه داده ESGF[1] دریافت شد. شایان ذکر است که داده‌های اقلیمی در مدل‌های برنامه CORDEX تا پایان سال ۲۰۰۵ میلادی به عنوان دورهٔ تاریخی و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوهای انتشار آینده در نظر گرفته شده است. برای اجرای این پروژه، نخست برنامه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB برای استخراج داده‌های مدل در محدودهٔ ایران و سپس مقایسهٔ داده‌های مشاهداتی با داده‌های مدل با در نظر گرفتن این شرط که در قدرت تفکیک ۰/۴٤، ایستگاه مشاهداتی با یاخته متناظر فاصله‌ای کمتر از ۲۵ کیلومتر داشته باشد، تنظیم شد. مبنای انتخاب این فاصله (۲۵ کیلومتر) به کارگیری بیشترین تعداد ایستگاه‌ها در تنظیم داده‌های دورهٔ پایه به منظور ارزیابی دقت

1. http: //www.cordex.org

خروجی مدل‌های منطقه‌ای است. پس از اعمال این شرط تعداد ۹ ایستگاه با داده‌های یاختهٔ متناظرشان مقایسه شدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

ردیف	ایستگاه	ارتفاع(متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
۱	دزفول	۱٤۳	۳۲/٤	٤۸/۳۸	سینوپتیک
۲	کشور	۷۷۰	۳۳/۱٤	٤۸/٦۳	بارانسنجی
۳	خرم آباد	۱۱٤۸	۳۳/٤٤	٤۸/۲۸	سینوپتیک
٤	بروجرد سازمان آب	۱٤۹۰	۳۳/۷۸	٤۸/۸	بارانسنجی
٥	بروجرد	۱٦۱۹	۳۳/٥٥	٤۸/٤٥	سینوپتیک
٦	اراک	۱۷۰۸	۳٤/۰۷	٤۹/۷۸	سینوپتیک
۷	الیگودرز	۲۰۲۲	۳۳/۲٤	٤۹/٤۲	سینوپتیک
۸	کوهرنگ	۲۳٦٥	۳۲/٤٥	٥۰/۱۳	سینوپتیک
۹	زردفهره	۲٤٤۱	۳۳/۰۱	٤۹/۸۱	بارانسنجی

۳.۳. روش تصحیح خطا

به منظور تصحیح خطای داده‌های شبیه‌سازی شده ماهانه بارش و دما در دورهٔ تاریخی و سپس دورهٔ آینده در هریک از ایستگاه‌ها و برای هر سه پارامتر هر مدل، از روش عامل تغییر استفاده شد (اویانگ و همکاران[1]، ۲۰۱٥، ص.۱۷۸۳). در این روش پس از استخراج ماهانهٔ دما و بارندگی دورهٔ پایه و آتی از مدل، با محاسبهٔ تفاوت ماهانهٔ درازمدت دما و درصد تغییرات بارندگی در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه، سناریوی اقلیمی مطابق روابط ۱ و ۲ برآورد و به داده‌های مشاهداتی حوضه اضافه (برای دما) و ضرب (برای بارندگی) می‌شود:

رابطهٔ ۱: $$Ti = Tobs,i + \left(\bar{T}_{GCM,fut,i} - \bar{T}_{GCM,base,i}\right)$$

رابطهٔ ۲: $$Pi = Pobs,i \times (\,\bar{P}_{GCM,fut,i} / \bar{P}_{GCM,base,i})$$

در روابط فوق، Ti و Pi به ترتیب بیانگر سری زمانی تعدیل شده دما و بارش حاصل از پدیدهٔ تغییر اقلیم در دورهٔ آتی برای هر ماه i، Tobs,i و Pobs,i به ترتیب بیانگر سری زمانی دما و بارندگی

1. Ouyang, Zhu, Fu, Lü, Zhang, Yu, & Chen

مشاهداتی در دورهٔ پایه برای هر ماه i، PGCM,fut,i و TGCM,fut,i به ترتیب بیانگر متوسط درازمدت بارش و دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های GCM دردورهٔ آتی برای هر ماهi ، TGCM,bade,i, و PGCM,bade,i به‌ترتیب بیانگر متوسط درازمدت دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های GCMدر دورهٔ مشابه با دورهٔ مشاهداتی برای هر ماه i می‌باشند.

همچنین از نمودار تیلور برای رسیدن به دیدی کلی و جامع از مقایسهٔ مدل‌ها در پهنهٔ مورد مطالعه استفاده شد. این نمودار به طور گسترده به منظور بررسی ابعاد پیچیده و پیمایش توان نسبی چند مدل یا طرحوارهٔ همرفت به کار می‌رود (تیلور[1]،۲۰۰۱، ص.۷۱۸٤). نرم‌افزار NCL-6.5.0 شامل توابعی است که آماره‌های مورد نیاز برای ترسیم نمودار تیلور را فراهم می‌کند.

۳. ٤. نمرهٔ مهارت (Skill Score)

از آنجایی که در بررسی عملکرد مدل‌ها حالات متفاوتی پیش می‌آید از جمله ممکن است میانگین مقادیر مشاهده شده ($\overline{o}$) و مدل ($\overline{m}$) برابر و ضریب همبستگی (Rm, O) نیز ۱ باشد، اما واریانس (تغییرپذیری) مقادیر مشاهده شده (σo2) و مدل (σm2) برابر نباشد یا میانگین مقادیر مشاهده شده و مدل برابر و واریانس (تغییرپذیری) آن‌ها نیز برابر، اما ضریب همبستگی صفر باشد یا واریانس آن‌ها (تغییرپذیری) برابر و ضریب همبستگی نیز ۱ باشد، اما میانگین مقادیر مشاهده شده و مدل برابر نباشد در تمام این حالات شبیه‌سازی مدل کاملا بر مشاهدات منطبق نیست. بنابراین، برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی نیاز به شاخصی است که همزمان این سه پارامتر (میانگین، واریانس و همبستگی) را لحاظ کند. بنابراین از نمرهٔ مهارت (SS) بین شبیه‌سازی مدل‌ها و مشاهدات به صورت زیر استفاده شد:

$$SS = [R2m.o] - \left[Rm.o - \left(\frac{\sigma m}{\sigma o}\right)\right]2 - [\frac{(m-\sigma)}{\sigma o}]2$$ رابطهٔ ۳

سه جملهٔ سمت راست رابطهٔ ۳ به ترتیب همبستگی، خطای سیستماتیک (غیرشرطی) و خطای غیرسیستماتیک (شرطی) را برای شبیه‌سازی مدل‌ها نسبت به مشاهدات به صورت کمی نشان می‌دهد (ویلکز[2]،۲۰۱۱، ص. ۳۳۱).

1. Teylor
2. Wilks

مدلی که دقیقا کلیه خصوصیات مشاهدات را بازتولید کند نمرۀ مهارت آن ۱ است. چنانچه میانگین و واریانس مقادیر مشاهده شده و مدل برابر و ضریب همبستگی صفر باشد نمرۀ مهارت مدل ۱- است. حدود تغییرات نمرۀ مهارت (SS) از منفی بی نهایت تا ۱ می‌باشد. در این مطالعه ۳۹ معیار برای مهارت مدل که شامل ٣٦ معیار برای متغیر ماهانۀ دما (حداقل و حداکثر) و بارش (۱۲ ماه) و ۳ معیار برای متغیر سالانۀ دما و بارش تعریف شد. عملکرد مدل‌ها در دورۀ تاریخی بر اساس معیارهای تعریفی برای هر مدل و پارامتر، در هر ایستگاه ارزیابی شد. سپس کیفیت مدل‌ها براساس مقدار (Δ) فاصلۀ اقلیدسی از کم به زیاد مرتب شد. Δ برای هر مدل، فاصلۀ اقلیدسی نمرۀ مهارت آن از نقطه‌ای با نمره مهارت کامل (۱،...۱،۱) است که مقادیر کمتر Δ نشان‌دهندۀ توافق بهتر شبیه‌سازی‌ها با مشاهدات می‌باشد. از آن‌جایی که نتایج مدل‌های اقلیمی، اساس شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم آینده را فراهم می‌کند که با عدم قطعیت همراه می‌باشند، یکی از روش‌هایی که امکان ارزیابی طیف وسیعی از عدم قطعیت را در مطالعات تغییر اقلیم ایجاد می‌کند، استفاده از multi model ensembles می‌باشد (IPCC, 2010).

در این پژوهش سعی شد با در نظر گرفتن ترکیب مدل‌ها با نمره مهارت متفاوت، علاوه بر حصول به بهترین شبیه‌سازی، تا اندازۀ قابل قبولی عدم قطعیت را کاهش داد تا بتوان شبیه‌سازی واقع‌بینانه‌تری از تغییرات بارش و دما در دهه‌های آتی را فراهم نمود. از این رو ترکیب‌های بسیار متفاوتی از ۱۷مدل مورد بررسی قرار گرفت (از جمله ترکیب‌های متفاوت ۲تایی، ۳ تایی، .... ۱۷ تایی) که در نهایت ترکیب ۱۰ تایی که کمترین مقدار Δ را برای کل منطقه داشت، انتخاب گردید (پیرس، بارنت، سانتر و گلکلر[1]، ۲۰۰۹، ص. ٨٤٤٨).

جدول ۲- مشخصات مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژۀ CORDEX

مأخذ: http: //www.cordex.org

شماره مدل	مدل	موسسات تحقیقاتی تدوین کننده مدل‌ها
M1	SMHI.IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL, Institute Pierre Simon Laplace, France
M2	SMHI.CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
M3	SMHI.MOHC-HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center, UK
M4	SMHI.EARTH	European community Earth-System Model

1. Pierce, Barnett, Santer, & Gleckler

شماره مدل	مدل	موسسات تحقیقاتی تدوین کننده مدل‌ها
M5	SMHI.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
M6	SMHI.MPI-M-MPI-ESM-LR	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Max Planck Institute for Meteorology
M7	SMHI.MIROC-MIROC5	MIROC, Center for Climate System Research, Japan
M8	SMHI.NorESM1-M	NCC, Norwegian Climate Center, Norway
M9	SMHI.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Météo-France Centre National de Recherches Météorologiques
M10	SMHI.CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
M11	IITM.CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
M12	IITM.IPSL-IPSL-CM5A-LR	Institutes Pierre-Simon Laplace
M13	IITM.CCCma-CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
M14	IITM.MPI-M-MPI-ESM-MR	Institute for Atmospheric and Environmental Sciences (IAES), Goethe University, Frankfurt am Main (GUF), Germany
M15	IITM.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
M16	IITM.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques
M17	MPI-M-MPI-ESM-LR	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany

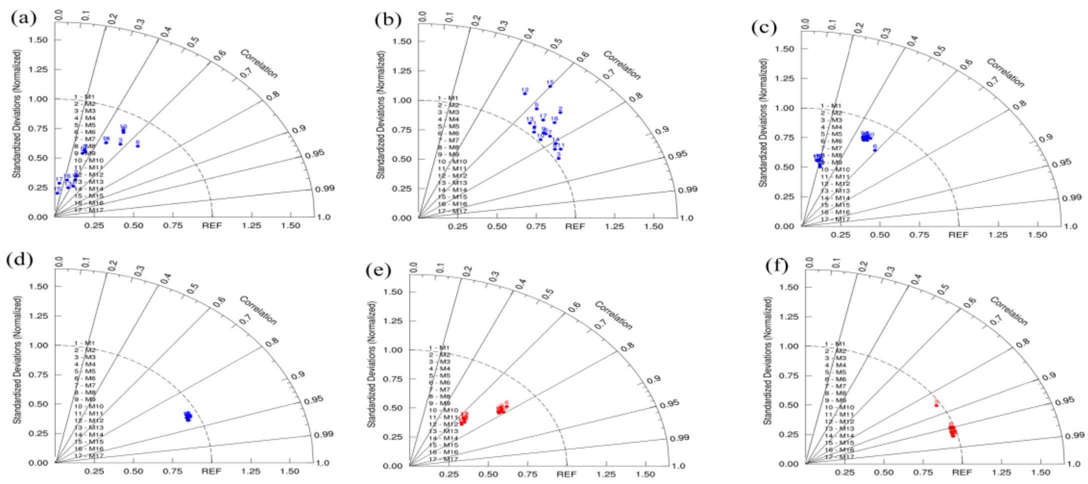
٤. یافته‌های تحقیق

به منظور ارزیابی اولیه بین شبیه‌سازی مدل‌های GCM و مشاهدات اقلیمی در منطقهٔ مورد مطالعه، از نمودار تیلور استفاده شد. شکل ۲ میزان شباهت شبیه‌سازی مدل‌ها با مشاهدات برای متغیر بارش، دمای حداکثر و حداقل را قبل و بعد از تصحیح خطا در نمودار تیلور نشان می‌دهد.

همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی مدل‌ها و مقادیر مشاهده‌شده بارش قبل از تصحیح خطا مابین ۰/۱۵ تا ۰/۵ بوده که بعد از تصحیح خطا به حدود ۰/۵ تا ۰/۸۵ رسیده است؛ این مقادیر برای دمای حداکثر قبل از تصحیح بین ۰/٦ تا ۰/۸ متغیر بوده که با تصحیح خطا این مقادیر تا ۰/۹۵ افزایش یافت. برای پارامتر حداقل دما مقدار همبستگی قبل از تصحیح بین ۰/۲ تا ۰/٤ است که به مانند دو پارامتر قبلی با تصحیح خطا این مقدار افزایش یافت به بیش از ۹۰ درصد رسید.

تصحیح خطا برای پارامتر دما و بارش در دورۀ تاریخی سبب افزایش همبستگی تا ۰/۹۸ برای دمای حداقل و حداکثر و ۰/۶۵ برای بارش شده است که این امر نشان می‌دهد تصحیح خطا سبب کاهش RMSE و افزایش همبستگی و نزدیک شدن واریانس مقادیر شبیه‌سازی مدل‌ها به مشاهدات شده است. دقت مدل‌ها براساس نمرۀ مهارت در جدول ۲ آورده شده است. ابتدا نمرۀ مهارت (SS) هر مدل در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش برای هر ایستگاه در حوضۀ مورد مطالعه (ماهانه، سالانه، ۳۹ تا SS) محاسبه گردید. سپس کیفیت مدل‌ها براساس مقدار (Δ) فاصله اقلیدسی از کم به زیاد مرتب شد (جدول ۲).

در نهایت ترکیب ده تایی (M7, M11, M2, M12, M6, M14, M4, M9, M10, M3) با کمترین مقدار Δ (۳/۱) برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. ترکیب مدل‌های فوق دارای Δ کمتری نسبت به تک تک مدل‌ها می‌باشد که حاکی از بهترین شبیه‌سازی است.



شکل ۲- نمودار تیلور برای متغیر ماهانه (a,c,e) به ترتیب بارش، حداکثر و حداقل دما قبل از تصحیح خطا، (b,d,f) به ترتیب بارش، حداکثر و حداقل دما بعد از تصحیح خطا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۳- نمرهٔ مهارت(SS) هر مدل و ترکیب مدل‌ها برای بارش (P)، حداکثر (TMAX) و حداقل دما (TMIN) ماهانه و سالانه در دورهٔ پایه برای کل حوضه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

Model		Select	M3	M10	M9	M4	M14	M6	M12	M2	M11	M7	M8	M5	M16	M1	M17	M15	M13
	Δ	٣/١	٤/٥	٤/٧	٤/٨	٥	٥/١	٥/٢	٥/٣	٥/٤	٥/٥	٦/١	٦/٢	٦/٥	٧	٧/٦	٧/٧	٨/٢	٩/٢
Jan	TMIN	٠/٧٥	٠/٧٦	٠/٧٠	٠/٦٨	٠/٥٢	٠/٤٩	٠/٦٨	٠/٥٨	٠/٧٥	٠/٥٢	٠/٥٠	٠/٧٥	٠/٦٦	٠/٥٣	٠/٧٨	٠/٧٣	٠/٦٧	٠/٦٧
	TMAX	٠/٧٦	٠/٧٨	٠/٧٨	٠/٨٠	٠/٧١	٠/٤٧	٠/٧٧	٠/٦٩	٠/٨١	٠/٧٣	٠/٦٣	٠/٨٢	٠/٧٥	٠/٧٠	٠/٧٣	٠/٧٦	٠/٧٢	٠/٦٣
	Pr	٠/٢٢	−٠/٣٨	−٠/٠٦	−٠/١٥	٠/٨٦	٠/٥٦	٠/٣٣	٠/٨٩	٠/٥٣	٠/٤٩	٠/٨٨	٠/٥٣	٠/٤٤	١/٥٢	٢/٧١	١/٦٤	−١	٢/١٢
Feb	TMIN	٠/٧١	٠/٧٠	٠/٦١	٠/٧٠	٠/٤٣	٠/٦٥	٠/٥٣	٠/٧٠	٠/٧٥	٠/٤٢	٠/٥٢	٠/٦٦	٠/٧٥	٠/٥٧	٠/٧٦	٠/٦٨	٠/٦٣	٠/٦٦
	TMAX	٠/٧٨	٠/٧٧	٠/٧٨	٠/٨٦	٠/٥٨	٠/٥٣	٠/٧٧	٠/٨١	٠/٨٣	٠/٧٦	٠/٧٣	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٧٧	٠/٨٢	٠/٧٨	٠/٧٧	٠/٧٥
	P	/١١	٠/١١	٠/١٠	−٠/٥٥	٠/٠٩	٠/٠٥	٠/٤٤	٠/٤٨	٠/١٦	٠/٥٥	٠/٨١	−١	٠/٦٣	٢/٣٢	٠/٠٣	٠/٩٤	٠/٤٣	−٢/٦
Mar	TMIN	٠/٧٧	٠/٧٧	٠/٧٥	٠/٨٢	٠/٧٥	٠/٧٥	٠/٧٦	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٧١	٠/٦٧	٠/٧٥	٠/٧٦	٠/٧٠	٠/٧٤	٠/٧٦	٠/٧٤	٠/٧٤
	TMAX	٠/٨٠	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٨٣	٠/٧٩	٠/٦٥	٠/٨٣	٠/٨٣	٠/٧٨	٠/٨٠	٠/٧٩	٠/٨٣	٠/٧٦	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٨٥	٠/٨٦	٠/٨١
	P	٠/٣٧	−٠/٥٧	−٠/٧٦	−١/١٨	٠/٢٠	٠/٤٦	٠/١٥	٠/٢٩	١/٣٠	١/٠٦	٠/١٩	٢/٥٤	٢/٠١	٠/٤١	١/٥٩	٢/١٤	٠/٣٧	٠/٣٤
Apr	TMIN	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٨٠	٠/٧٤	٠/٧٦	٠/٧٧	٠/٧٦	٠/٧٦	٠/٧١	٠/٧٤	٠/٧٩	٠/٧٧	٠/٧٤	٠/٧٨	٠/٧٠	٠/٧٦	٠/٧٧	٠/٧١
	TMAX	٠/٨٦	٠/٨٥	٠/٨٧	٠/٧٤	٠/٨٦	٠/٦٤	٠/٨٤	٠/٨١	٠/٧٦	٠/٨٨	٠/٧٨	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٧٩	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٨٩	٠/٧٤
	P	−٠/٠٩	٠/١١	٠/٠٣	−٠/٦١	٠/٧١	٠/٠٨	٠/٢٩	−/٢١	١/٧٣	٠/٤٣	١/٩٨	٠/٦٧	١/٧٥	١/٢١	١/١٤	٢/٩٩	٢/٢٤	١/٠٩
May	TMIN	٠/٨٢	٠/٧٩	٠/٨٣	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٧٨	٠/٧٤	٠/٨٣	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٧٧	٠/٨١	٠/٨٣	٠/٧٦
	TMAX	٠/٨٥	٠/٨٤	٠/٨٩	٠/٩٠	٠/٨٧	٠/٧٢	٠/٨١	٠/٨٢	٠/٩٠	٠/٧٩	٠/٨٢	٠/٩٠	٠/٩١	٠/٨٠	٠/٨٨	٠/٨٩	٠/٨٨	٠/٨٤
	P	٠/٢١	−٠/٢٠	−٠/٥٣	٠/٢٤	٠/٧١	−/٠٣	٠/٣٨	٠/٥٧	٠/٢٩	٠/٣٢	٠/٦٧	٠/٣١	١/١٥	٠/٧٤	١/٥٠	٠/١٩	١/٢١	٠/٣٢
Jun	TMIN	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٨١	٠/٧٧	٠/٨٠	٠/٨٠	٠/٧٨	٠/٧٧	٠/٧٨	٠/٧٨	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٧٦	٠/٨١	٠/٧٨	٠/٨٢	٠/٧٨
	TMAX	٠/٨٩	٠/٨٧	٠/٩١	٠/٩٠	٠/٨٨	٠/٧٢	٠/٨٧	٠/٨٨	٠/٨٨	٠/٩٠	٠/٨٦	٠/٨٤	٠/٩٠	٠/٨٧	٠/٨٨	٠/٩٠	٠/٨٩	٠/٨٩
	P	−٠/١٧	−٠/٥٨	−٠/٠٢	٠/٠١	٠/٣٣	٠/٠٦	٠/٣٢	٠/١٢	٠/١٦	٠/٠٤	٠/٣٠	٠/٢١	٠/٣٣	٠/٣٠	٢/٦٦	٠/١٨	٢/٢٦	٥/٣٩
Jul	TMIN	٠/٨٣	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٧٨	٠/٧٩	٠/٨١	٠/٨١	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٨١	٠/٨٠	٠/٧٨	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٧٢
	TMAX	٠/٧٦	٠/٨٩	٠/٩٠	٠/٩٢	٠/٩١	٠/٧١	٠/٩٢	٠/٩٠	٠/٨٩	٠/٨٩	٠/٨٩	٠/٩١	٠/٨٧	٠/٨٩	٠/٩١	٠/٨٨	٠/٩١	٠/٨٦
	P	٠/١٩	−٠/٢٢	٠/٢١	٠/٠١	٠/٠٥	٠/٠٩	٠/٠٢	٠/٢٦	٠/١٣	٠	٠/٣١	٠/١٥	٠/١٨	٠/١٩	٠/٠١	٠/٠١	٠/٣٦	٠/٠٧
Agu	TMIN	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٨٣	٠/٨٠	٠/٧٨	٠/٨٠	/٧٩	٠/٧٩	٠/٨٢	٠/٧٧	٠/٨٠	٠/٧٥	٠/٧٦	٠/٧٩	٠/٧٤
	TMAX	٠/٨٠	٠/٩١	٠/٩١	٠/٩١	٠/٩١	٠/٧٣	٠/٩١	٠/٩١	٠/٨٨	٠/٩٢	٠/٨٩	٠/٩١	٠/٨٦	٠/٩١	٠/٩٠	٠/٨٩	٠/٩٢	٠/٨٦
	P	٠/٣٧	−٠/٢٢	٠/٠٢	−٠/٠٥	٠/٠٦	٠/٠٢	٠/١١	٠/٠٧	٠/١٧	٠/٠٣	٠/١٢	٠/١٠	٠/٢٢	٠/٢٣	٠/٠٧	٠/٠٦	١/٢٦	٠/٠٣
Sep	TMIN	٠/٧٩	٠/٨٤	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٨٠	٠/٨٠	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٨٠	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٧٩	٠/٨٢	٠/٨١	٠/٧٥	٠/٨١	٠/٧٧
	TMAX	٠/٨٦	٠/٨٦	٠/٩٠	٠/٩٠	٠/٩٠	٠/٧٤	٠/٩٠	٠/٨٩	٠/٨٨	٠/٨٩	٠/٨٧	٠/٨٩	٠/٨٧	٠/٩٠	٠/٩٠	٠/٨٤	٠/٩٠	٠/٨٩
	P	٠/٢٤	−٠/١٧	−٠/٩٣	٠/٠٤	٠/٩٣	١/٩٠	١/٠٨	−/١٠	٠/١٦	٠/٤١	٠/٠٩	٠/٢٨	٠/١٥	٠/٩٥	٠/١٩	٠/٣٥	٢/٧٩	٠/٢٣
Oct	TMIN	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٨١	٠/٨٢	٠/٨٣	٠/٨٣	٠/٨٠	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٨٣	٠/٧٨	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٨١	٠/٨٢	٠/٧٩
	TMAX	٠/٥٦	٠/٩١	٠/٩١	٠/٨٩	٠/٨٩	٠/٦٨	٠/٩٠	٠/٨٦	٠/٨٥	٠/٩٠	٠/٨٢	٠/٨٨	٠/٨٢	٠/٨٩	٠/٨٤	٠/٨٨	٠/٨٩	٠/٨٥
	P	٠/٤١	−٠/٦٠	−٠/٣٧	−٠/٤٩	٠/٠٧	٠/٣٦	١/١٦	٠/٤٤	٠/٣٣	٠/٤٠	٠/٣٨	٠/٢٤	٠/٣٦	١/٧٨	٠/٠٥	٠/٥٦	١/٣٦	٠/٦٤
Nov	TMIN	٠/٧٨	٠/٨١	٠/٨٢	٠/٧٨	٠/٨٢	٠/٧٧	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٨٢	٠/٨٢	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٨١	٠/٧٩	٠/٧٣	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٨١
	TMAX	٠/٧٢	٠/٨٢	٠/٧٩	٠/٨٢	٠/٨٤	٠/٦٢	٠/٨٨	٠/٨٧	٠/٨٩	٠/٩٠	٠/٨٥	٠/٨٩	٠/٨٧	٠/٨٦	٠/٨٦	٠/٨١	٠/٨٣	٠/٨٨
	P	٠/٣٠	−٠/٣٢	−٠/٦٥	−٠/٤٩	٠/٣١	٠/٢٨	١/٠٨	٠/٧٦	٠/٣٤	٠/٢٠	٠/٤٦	١/٠٥	٠/٨٤	٠/٣٤	٠/٩٦	٠/٣٦	٠/٥٢	٠/٣٥
Des	TMIN	٠/٧٥	٠/٨٠	٠/٧١	٠/٦٦	٠/٧١	٠/٧٠	٠/٧٢	٠/٦٧	٠/٧٧	٠/٥٦	٠/٥٦	٠/٧٢	٠/٧١	٠/٥٤	٠/٧٧	٠/٧٦	٠/٧٣	٠/٧٠
	TMAX	٠/٧٧	٠/٧٧	٠/٧٠	٠/٨٠	٠/٨١	٠/٦١	٠/٧٧	٠/٦٦	٠/٧٩	٠/٧٢	٠/٥٦	٠/٨٢	٠/٧٦	٠/٦٩	٠/٧٨	٠/٧٨	٠/٧٨	٠/٧٣
	P	٠/٢٤	٠/١٥	−٠/١٤	−٠/٢٤	٠/١١	٠/١٣	٠/٢٧	١/٠١	٠/٥٠	١/٥٠	١/٣٧	٠/٥١	١/١١	٠/٣٧	٠/١٩	٢/٢٥	٠/٦٨	٠/٦٩
Annual	TMIN	٠/٨٢	٠/٨٦	٠/٨٥	٠/٨٤	٠/٨٤	٠/٨٤	٠/٨٥	٠/٨٥	٠/٨٤	٠/٨٣	٠/٨٤	٠/٨٥	٠/٨٥	٠/٨٣	٠/٨٤	٠/٨٥	٠/٨٥	٠/٨٣
	TMAX	٠/٨٣	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩٤	٠/٩٣	٠/٧٣	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩٣	٠/٩١	٠/٩٤	٠/٩٤	٠/٩٢	٠/٩٣	٠/٩٢	٠/٩٤	٠/٩٢
	P	٠/٦٧	٠/٦٥	٠/٥٨	٠/٥٢	٠/٤٣	٠/٧٣	٠/٦٥	٠/٤٨	٠/٣٥	٠/٤٠	٠/٤٦	٠/١٩	٠/٣٤	٠/٠٩	٠/٢٥	٠/٢٠	٠/٣١	٠/٢٧

٤. ١. خروجی‌های مدل‌های GCM در حوضهٔ آبخیز دز

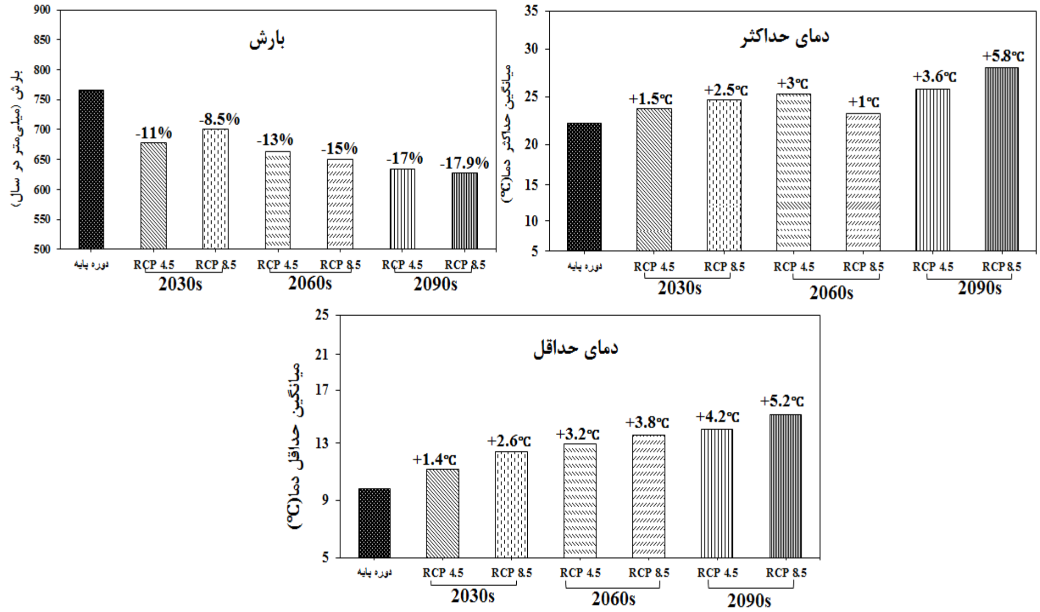
پس از ارزیابی دقت مدل‌ها برای دورهٔ پایه و انتخاب مدل‌های مناسب (۱۰ مدل منتخب) اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آتی شد. مدل برای سه دورهٔ ۲۰ ساله (۲۰۹۹-۲۰۸۰، ۲۰٦۹-۲۰۵۰ و ۲۰۳۹-۲۰۲۰) در قرن ۲۱ و تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه‌های مورد مطالعه اجرا گردید. جدول ٤ پیش‌نگری تغییرات بارش و دما کل حوضه آبخیز دز را برای سه دوره (نزدیک، متوسط و دور) نسبت به دورهٔ پایه، تحت سناریوهای مذکور نشان می‌دهد. به طور کلی بارش حوضه روند کاهشی داشته است. مطابق جدول ۳ در سناریوی RCP4.5 میانگین بارش سالانه در دورهٔ ۲۰ ساله اول، دوم و سوم به ترتیب ٦۷۸، ۵/ ٦٦۳ و ٦٦۳ میلی‌متر برآورد گردیده که نسبت به دورهٔ پایه (۷٦۵میلی‌متر) بین ۱۱ تا ۱۷ درصد کاهش بارش را نشان می‌دهد، این کاهش در سناریوی RCP8.5 بین ۸ تا ۱۸ درصد متغیر است. طبق مطالعات انجام شده توسط قدمی، سلطانی،گودرزی، نادری و تیموری (۱۳۹۷) و اسکانی کزازی (۱۳۹۵) تغییر اقلیم موجب کاهش بارش در دوره‌های آتی نسبت به دورهٔ پایه در این حوضه خواهد شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در منطقهٔ مورد مطالعه، افزایش دمای حداکثر نسبت به دورهٔ پایه برای سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب مابین ۵/۸ تا ۱/٦ و ۳ تا ۱/۵ درجه سلسیوس متغیر است. این مقادیر برای دمای حداقل مابین ۱/۵ تا ٤/۲ و ۲/۷ تا ۵/۳ درجه سلسیوس است که بیشترین افزایش دمای حداقل و حداکثر برای این سناریوها در دهه‌های آتی مربوط به سناریو انتشار RCP8.5 است. این اختلاف بین سناریوهای انتشار در پیش‌نگری افزایش دما (حداکثر و حداقل) به ویژه در آینده دور به علت تفاوت در مسیر تعریف شده انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوها است. به طوری که سناریو RCP8.5 تا پایان قرن افزایش دائمی انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد که خروجی‌های این بخش نیز با تحقیق سیدکابلی (۱۳۹۵) برای حوضه دز همسو است. همچنین نتایج مطالعات انجام شده توسط آذری، مرادی، ثقفیان و فرامرزی (۱۳۹۲)، نادری، گودرزی، قدمی دهنو (۱۳۹٦) و توکلی، کریمی و نورالهی

(۱۳۹۷) به ترتیب بر روی حوضه‌های گرگان‌رود، سیمره وگـل گـل بـا نتـایج ایـن پـژوهش همسویی دارند.

جدول ٤- میانگین درازمدت پارامترهای اقلیمی نسبت به دورهٔ پایه تحت سناریو RCP8.5 و RCP4.5

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

پارامتر	پایه	RCP4.5			RCP8.5		
		(2030s)	(2060s)	(2090s)	(2030s)	(2060s)	(2090s)
بارش	۷۶۵/۳	۶۷۸/۳	۶۶۳/۵	۶۳۳/۴	۷۰۰/۴	۶۴۹/۴	۶۲۷/۸
دمای حداکثر	۲۲/۲۵	۲۳/۷۵	۲۴/۷۴	۲۵/۳۳	۲۳/۸	۲۵/۸	۲۸/۱
دمای حداقل	۷/۷	۹/۲	۱۰/۹	۱۱/۹	۱۰/۴	۱۱/۵	۱۲/۹



شکل ۳- پیش‌نگری دما و بارش حوضهٔ آبخیز دز در دهه‌های آتی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

٤. ۲. بررسی تغییرات سالانهٔ پارامترهای اقلیمی

حوضهٔ مورد مطالعه بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی و دو پارامتر اقلیمی دما و بارش به سه طبقهٔ ارتفاعی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰، ۱۰۰۱ تا ۲۰۰۰ و بالاتر از ۲۰۰۰ متر تقسیم شد و در هر طبقه یک ایستگاه به‌عنوان نماینده انتخاب گردید. بدین ترتیب که دزفول (۱۵۰متر)، بروجرد (۱٦۰۰ متر) و کوهرنگ (۲۳٦۵ متر) به ترتیب نمایندهٔ هر یک از طبقات ارتفاعی با توپوگرافی جلگه، پایکوهی و کوهستان هستند. در ادامه تغییرات سالانه و ماهانهٔ پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های منتخب برای سه دوره، تحت دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه تشریح می‌شود.

٤. ۲. ۱. دزفول

مطابق جدول ۵ تغییرات میانگین بارش سالانهٔ ایستگاه دزفول در دوره‌های پایه و آینده بر اساس سناریوهای مورد بررسی حکایت از افزایش شرایط بارشی این ایستگاه در دهه‌های آتی جز دورهٔ (۲۰۹۹–۲۰۸۰) در سناریو RCP4.5 دارد. خروجی‌ها نشان می‌دهد دزفول در آینده بارشی مابین ۰/۷ تا ۱۱ درصد را دریافت خواهد کرد. پیش‌نگری مقادیر دمای بیشینه در آینده نزدیک برای سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 حدود ۱/٤ درجه سلسیوس، در آینده متوسط مابین ۲/۲ تا ۳/۳ درجه سلسیوس و در آینده دور بین ۲/۸ تا ۵/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. نمودار دمای حداقل دزفول برای سه دورهٔ آینده نشان می‌دهد که مقادیر این پارامتر از دو ایستگاه کوهرنگ و بروجرد در هر دو سناریوی انتشار تا سال ۲۱۰۰ افزایش بیشتری خواهد داشت (شکل ٤). این افزایش در سناریوی RCP8.5 نسبت به RCP4.5 بیشتر بوده و میانگین دما از ۱٦ درجه سانتی‌گراد در دورهٔ پایه به ۲۱/۵ درجهٔ سلسیوس در دورهٔ ۲۰۸۰–۲۰۹۹ می‌رسد.

٤. ۲. ۲. بروجرد

پیش‌نگری میانگین بارش سالانه بروجرد در سناریوی RCP4.5 دورهٔ ۲۰ سالهٔ اول، دوم و سوم به ترتیب ٤۵۷ و ٤٤۳ و ٤۳٦ میلی‌متر برآورد گردیده که نسبت به دورهٔ پایه (٤۵٦میلی‌متر) این ایستگاه در بازه‌های زمانی ۲۰٦۹– ۲۰۵۰ و ۲۰۹۹– ۲۰۸۰ بین ۲/۹ تا ٤/۵

درصد کاهش بارش را تجربه می‌کند. در سناریوی RCP8.5 نیز به مانند سناریو قبلی بیشترین کاهش بارش شبیه‌سازی شده در دوره‌های دوم و سوم بین ۵ تا ۷ درصد اتفـاق افتـاده اسـت. خروجی حداکثر دمای این ایستگاه در آینده نزدیک برای سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 حدود ۱/۵ درجهٔ سلسیوس، در آیندهٔ متوسط بین ۲/۵ تا ۳/٦ درجهٔ سلسیوس و در آیندهٔ دور بین ۳ تا ۵/۹ درجه سلسیوس متغیر است؛ نتایج حکایت از افزایش دما نسـبت بـه دورهٔ پایـه دارد. شبیه‌سازی سالانهٔ مقادیر دمای کمینـه در سـناریوی RCP4.5 حـاکی از ایـن اسـت کـه مقادیر این پارامتر از سال ۲۰۲۰ به بعد رونـد افزایشـی داشـته و بیشـترین مقـدار آن در دورهٔ پایانی قرن ۲۱ یعنی سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۹۹ مشاهده می‌گردد. روند افزایشی دمـای حـداقل در سناریوی RCP8.5 نسبت به RCP4.5 مشخص‌تر است و همانند سناریوی متوسط این روند افزایشی در دورهٔ سوم (۲۰۹۹-۲۰۸۰) قرن با ۵ درجه سلسیوس نسبت به دورهٔ پایه، بسیار بالا است (جدول۵). این بخش از یافته‌ها با نتایج پژوهش جهانگیر، نوروزی و یاراحمدی (۱۳۹۷) برای این ایستگاه مطابقت دارد.

٤. ۲. ۳. کوهرنگ

پیش‌نگری متغیرهای بارش، حداکثر و حداقل دمای سالانهٔ ایستگاه کوهرنگ در دوره‌هـای پایه و آینده در جدول۵ آمده است. شبیه‌سازی بارش کوهرنگ در سـناریوی RCP4.5 رونـد افزایشی دارد. میانگین بارش سالانه در این سناریو در دوره‌های آتی به ترتیـب ۱٤۰۸ و ۱٤۰۰ و ۱۳٤۹ میلی‌متر برآورد گردیده که نسبت بـه دورهٔ پایـه (۱۳٦۹میلی‌متـر) در دورهٔ اول و دوم ۲/۸ و ۲/۲ درصد افزایش بارش و در دورهٔ سوم ۱/۵ درصد کاهش را پیش‌نگری کرده اسـت. شرایط افزایش بارش در سناریوی RCP8.5 فقـط در بـازه زمـانی ۲۰۳۹ - ۲۰۲۰ در حـدود ۱۰/۸ درصد اتفاق افتاده است، در حالی‌که دو دورهٔ دیگر، کوهرنگ کاهش ۳ تا ۱۰ درصـدی را تجربه خواهد کرد. خروجی شبیه‌سازی دمای حداکثر برای این ایستگاه نشـان می‌دهـد کـه مقادیر این پارامتر در هر دو سناریوی انتشار تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد داشت. میانگین دما از ۱٦/۲ در دورهٔ پایه به ۱۹/۳ درجهٔ سلسیوس در دورهٔ ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در سـناریوی RCP4.5 می‌رسد. این تغییرات براساس سناریوی بدبینانه روند افزایشی محسـوس‌تری نسـبت بـه دورهٔ

پایه نشان می‌دهد، بدین ترتیب که مقادیر دمـا در دو دورهٔ ۲۰۵۰– ۲۰٦۹ و ۲۰۸۰– ۲۰۹۹ بـه ترتیب ۳/٦ و ٥/۹ درجهٔ سلسیوس افزایش داشته است. دمای حداقل در ایستگاه کوهرنـگ در آیندهٔ نزدیک، برای سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 بین ۱/۱ تا ۲/۱ درجهٔ سلسـیوس، در آیندهٔ متوسط مابین ۳ تا ۳/۲ درجهٔ سلسیوس و در آیندهٔ دور بین ۳/٦ تـا ٥ درجـهٔ سلسـیوس متغیر است.

جدول ٥- میانگین درازمدت پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های کوهرنگ بروجرد و دزفول نسبت به دورهٔ پایه تحت سناریو RCP8.5 و RCP4.5

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

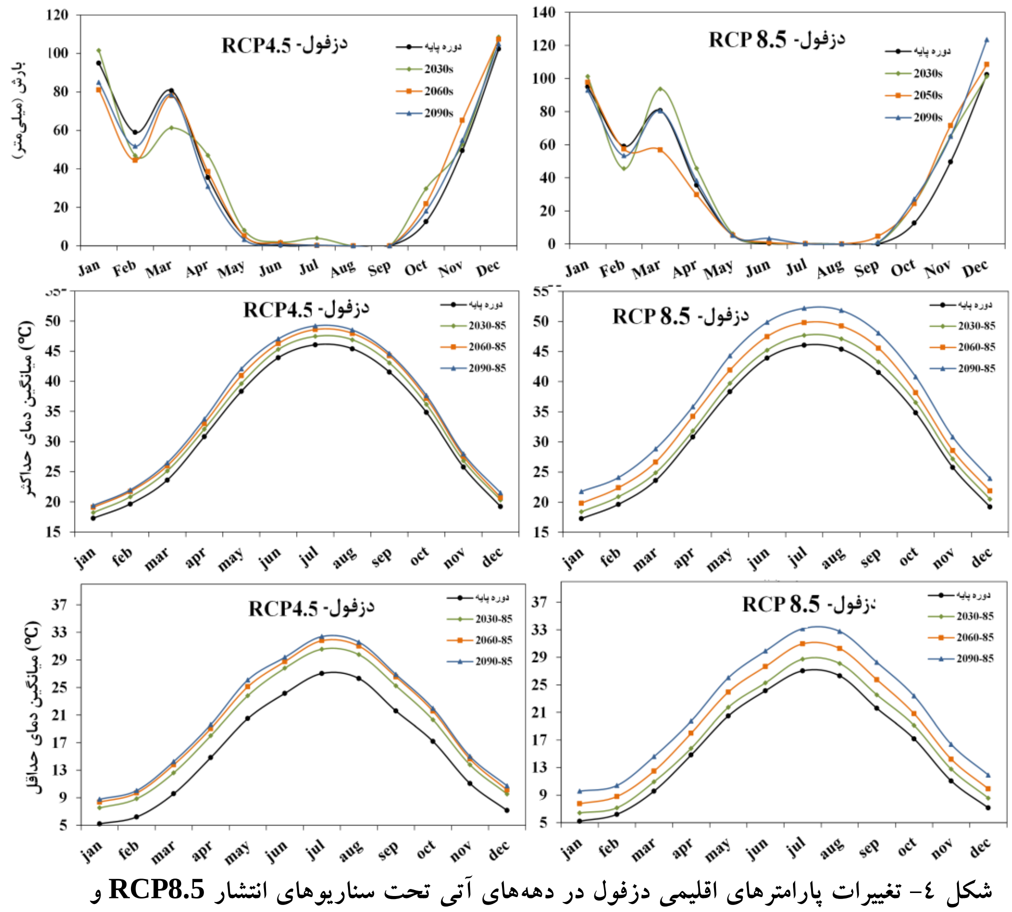
ایستگاه	پارامتر	سناریو: پایه	RCP4.5 (2030s)	RCP4.5 (2060s)	RCP4.5 (2090s)	RCP8.5(2030s)	RCP8.5(2060s)	RCP8.5 (2090s)
دزفول	بارش(م م)	٤٤٠/٧	٤٥٢/٦	٤٤٣/٩	٤٢٨/٨	٤٨٠	٤٥١/٦	٤٨٩/٨
	دمای حداکثر	٣٢/٣	٣٣/٥	٣٤/٥	٣٥/١	٣٣/٧	٣٥/٥	٣٧/٨
	دمای حداقل	١٥/٩	١٧/٤	١٩/٣	٢٠/٦	١٩	٢٠/١	٢١/٥
بروجرد	بارش(م م)	٤٥٥/٧	٤٥٧	٤٤٢/٦	٤٣٥/٢	٤٧٧	٤٣١	٤٢٢/٣
	دمای حداکثر	٢٠/٩٦	٢٢/٤	٢٣/٤٨	٢٣/٩٧	٢٢/٥	٢٤/٥٨	٢٦/٨٥
	دمای حداقل	٧/٣	٨/٤٣	١٠/٢	١١/١	٩/٦	١١/١	١٢/٢٤
کوهرنگ	بارش(م م)	١٣٦٩	١٤٠٧/٥	١٤٠٠	١٣٤٩/٢	١٥١٧	١٣٢٦	١٢٣٨/٩
	دمای حداکثر	١٦/٢٤	١٧/٦٦	١٨/٧٦	١٩/٣٢	١٧/٧٧	١٩/٨٣	٢٢/١٣
	دمای حداقل	٣/١٢	٤/١٨	٦/١	٦/٧	٥/٢	٦/٣	٨/١

٤. ٣. بررسی تغییرات ماهانهٔ پارامترهای اقلیمی

٤. ٣. ١. دزفول

برخلاف دو ایستگاه قبلی، عدم قطعیت در بارش برای دزفول بیشتر است و این بی‌نظمـی از نمودار آن مشخص است. میانگین بارش در این ایستگاه بجز در دورهٔ اول در اکثر ماه‌هـای دورهٔ دوم و سوم کاهش خواهد داشت. پربارش‌ترین ماه‌ها ژوئن، اکتبر، نـوامبر و دسـامبر در تمام طول دوره و در هر دو سناریو است. بیشترین تغییرات در میانگین ماهانهٔ دمای بیشینه این

ایستگاه مربوط به ماه‌های ژوئن، ژولای، آگوست و سپتامبر بوده است. به طورکلی حداکثر دما در هر سه دوره و تحت دو سناریو افزایش می‌یابد که کمترین افزایش در بـازهٔ زمـانی ۲۰۳۹- ۲۰۲۰ در سـناریو RCP4.5 و بیشـترین افـزایش آن در دوره ۲۰۹۹- ۲۰۸۰ تحـت سـناریو RCP8.5 رخ خواهد داد. براساس شـکل ٤ بیشـترین تغییـرات در میـانگین دمـای کمینـه در سناریو انتشار RCP4.5 مربوط به ماه‌های آوریل تا اکتبر بوده است. در سناریو RCP8.5 نیـز دمای کمینه در ماه‌های تابستان افزایش چشمگیری را نسبت به دورهٔ پایه نشان می‌دهد. نتـایج روند افزایشی دما با پژوهش نیکبخت شهبازی (۱۳۹۷) منطبق می‌باشد.



شکل ٤- تغییرات پارامترهای اقلیمی دزفول در دهه‌های آتی تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP4.5در مقایسه با دورهٔ پایه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

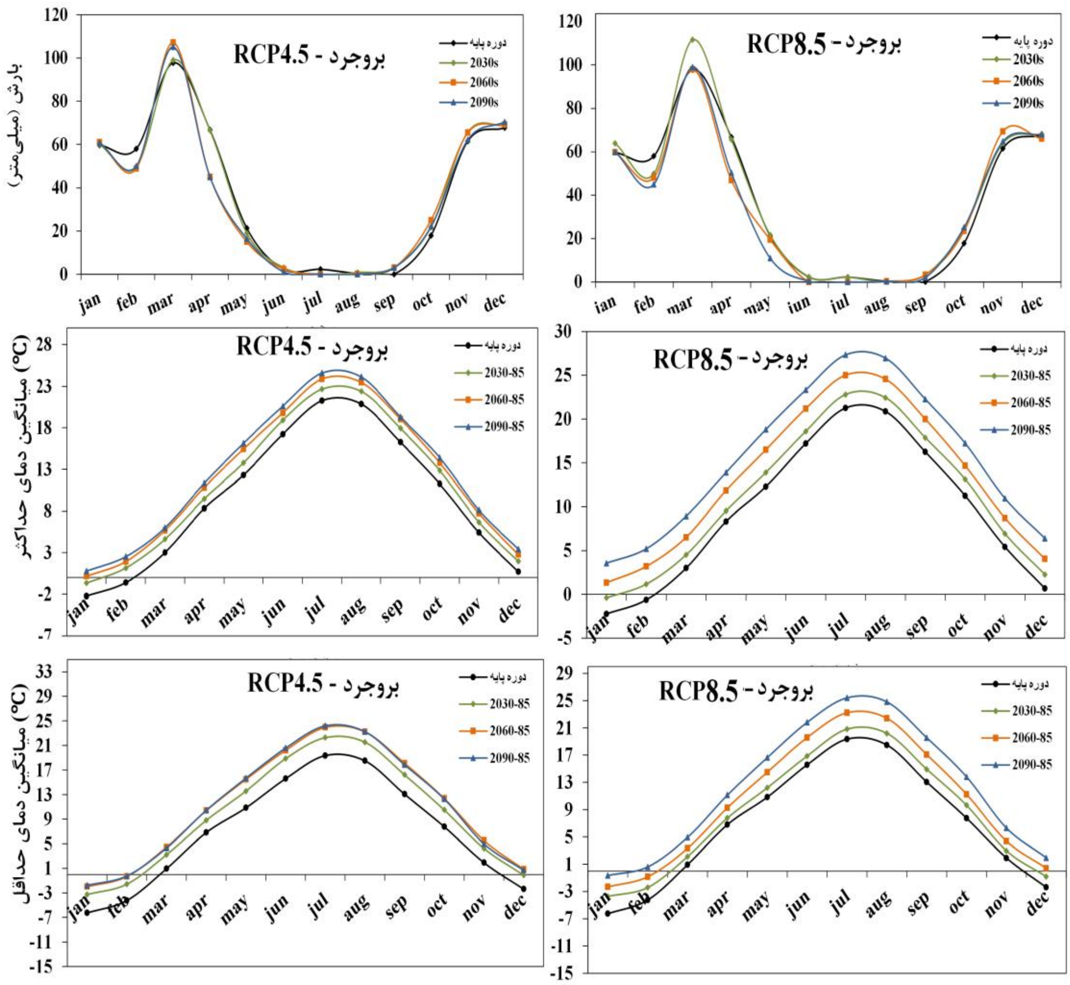
٤. ۳. ۲. بروجرد

تغییرات ماهانهٔ بارش ایستگاه بروجرد در دوره‌های پایه و آینده بر اساس سناریوهای مورد بررسی در شکل ۵ آورده شده است. مطابق شکل مقدار بارش در ماه‌های ژانویه، مارس، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر در هر سه بازه و در هر دو سناریو نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد داشت. به طور کلی می‌توان گفت بارش در فصل پاییز و زمستان افزایش و در فصل بهار و تابستان کاهش خواهد یافت. پیش‌نگری تغییرات میانگین ماهانهٔ حداکثر دمای ایستگاه بروجرد برای دهه‌های آتی نشان می‌دهد که میانگین حداکثر دما در کلیه ماه‌ها در دوره‌های آینده افزایش می‌یابد. بیشترین تغییرات در میانگین دمای بیشینه مربوط به ماه‌های آگوست، سپتامبر و نوامبر بوده که در سناریو RCP8.5 به طور متوسط تا ٦ درجهٔ سلسیوس افزایش دما را در دورهٔ پایانی قرن ۲۱ نشان می‌دهند. خروجی میانگین ماهانه حداکثر دمای ایستگاه بروجرد برای دهه‌های آتی نشان می‌دهند که بیشترین تغییرات در میانگین دمای کمینه مربوط به ماه‌های فصل تابستان و به ویژه در سناریوی RCP8.5 بوده است که در توافق با نتایج صورت گرفته توسط نصیری و یارمرادی (۱۳۹٦) و جهانگیر، نوروزی و یاراحمدی (۱۳۹۷) برای این ایستگاه می‌باشد.

٤. ۳. ۳.کوهرنگ

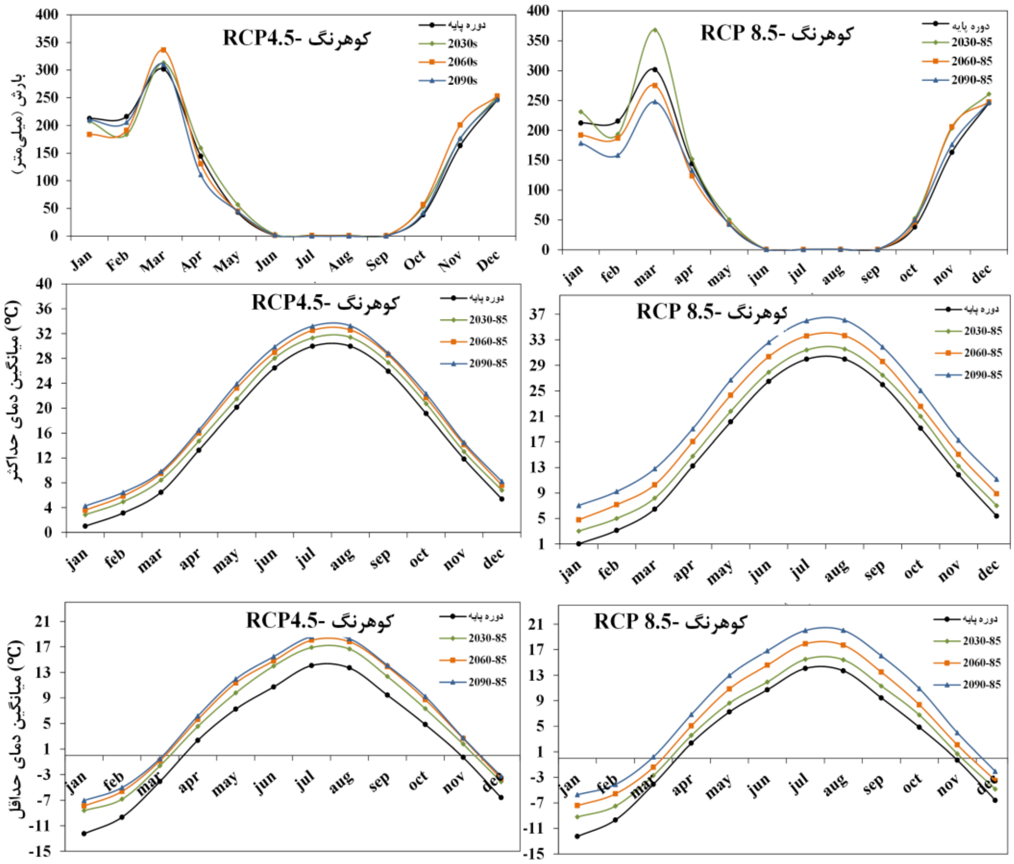
شکل ٦ روند تغییرات ماهانهٔ مقادیر پیش‌نگری شدهٔ پارامترهای اقلیمی کوهرنگ را در دو سناریو واداشت تابشی نسبت به دورهٔ مشاهده نشان می‌دهد. میانگین بارش در کوهرنگ در اکثر ماه‌های دوره آینده کاهش خواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارش در ماه‌های اکتبر تا دسامبر یعنی در فصل پاییز افزایش یافته است. خروجی میانگین ماهانهٔ حداکثر دمای ایستگاه کوهرنگ برای دهه‌های آتی نشان می‌دهد این پارامتر در سناریوهای مورد بررسی در همهٔ ماه‌ها افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در آن مربوط به ماه‌های فصل زمستان و تابستان و به ویژه در سناریو RCP8.5 بوده است. نتایج تغییرات میانگین ماهانه حداقل دمای برای دهه‌های آتی نشان می‌دهند که در سناریوی RCP4.5 حداقل دما به‌ویژه در فصل تابستان (جولای، آگوست و سپتامبر) از سال ۲۰۵۰ به بعد افزایش یافته است. تغییرات یاد شده در

سناریوی RCP8.5 بارزتر است، این روند رو به بالا در سناریو مذکور در همه ماه‌های سال شدیدتر بوده و کمینه دما به مقدار ٦ درجهٔ سلسیوس نسبت به دورهٔ پایه افزایش داشته است. نتایج به دست آمده با مطالعات حصیرچیان، ذهیبیون و خزایی (۱۳۹۷) برای ایستگاه یاسوج در محدودهٔ جغرافیایی مشترک با ایستگاه کوهرنگ همسو می‌باشد.



شکل ٥- تغییرات پارامترهای اقلیمی بروجرد در دهه‌های آتی تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP4.5در مقایسه با دورهٔ پایه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ٦- تغییرات پارامترهای اقلیمی کوهرنگ در دهه‌های آتی تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP4.5در مقایسه با دورهٔ پایه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر در متوسط مؤلفه‌های اقلیمی (به‌ویژه دما و بارندگی) تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس بگذارد. در این پژوهش دقت ۱۷ مدل گردش کلی از CORDEX- WAS (جنوب آسیا) در پیش‌نگری دما و بارش حوضهٔ آبخیز دز مورد ارزیابی قرار گرفت. خروجی‌ها نشان داد شبیه‌سازی مدل‌ها با خطا همراه است و باید قبل از استفاده از آن‌ها در مطالعات تصحیح شوند از روش عامل تغییر برای تصحیح خطای شبیه‌سازی مدل‌ها استفاده شد. از آنجایی که انتخاب یک مدل برای تجزیه و تحلیل‌های تغییر

اقلیم نمی‌تواند تمامی محدودهٔ عدم قطعیت‌های را پوشش دهد. از این‌رو در این مطالعه یک مجموعهٔ ۱۰ تایی (M7, M11, M2, M12, M6, M14, M4, M9, M10, M3) با نمرهٔ مهارت (SS) بالا انتخاب شد تا منجر به پیش‌نگری دقیق‌تری از تغییرات اقلیمی شود. نتایج مدل‌های انتخابی حکایت از کاهش ۱۱ تا ۱۷ درصدی بارش برای سناریو RCP4.5. و ۸ تا ۱۸ درصدی برای سناریو RCP8.5 برای کل حوضه داشت. خروجی دمای حداکثر حوضه برای سناریوی انتشار RCP4.5 افزایش۱/۵ تا ۳ درجه و برای سناریوی بدبینانه RCP8.5 افزایش ۵/۸ تا ۱/٦ درجهٔ سلسیوس را پیش‌نگری می‌کند. این افزایش برای دمای حداقل برای سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بین ۱/۵ تا ٤/۲ و ۲/۷ تا ۵/۳ درجهٔ سلسیوس در تغییر است. بررسی‌ها برای ایستگاه‌های منتخب در سه محدودهٔ توپوگرافی مختلف این حوضه نیز نشان داد شاخص‌های دماهای حداکثر و حداقل برای تمام ماه‌ها تحت هر دو سناریو افزایش خواهند یافت. اگرچه پیش‌نگری بارش با بی نظمی‌هایی همراه بوده است، اما موضوع مشترک در محدوده‌های توپوگرافی مورد بررسی کاهش بارش سالیانه علیرغم افزایش بارش‌های پاییزی بوده است. به طورکلی، پژوهش انجام شده در حوضهٔ آبخیز دز و نتایج حاصل از آن، بیانگر این است که این محدوده در دهه‌های آتی به سمت اقلیمی با رطوبت کمتر و دمای بیشتر پیش می‌رود. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق به نظر می‌رسد پایگاه داده‌ای CORDEX قابلیت مناسبی در پیش‌نگری دما و بارش حوضه‌های مطالعاتی مشابه داشته باشد. از آنجایی‌که حوضهٔ مذکور جزو نواحی پربارش محسوب می‌شود و از طرفی پارامتر بارش ضریب تغییرپذیری بالاتری نسبت به دما دارد، ممکن است مدل‌های انتخابی در پژوهش، در حوضه‌هایی با بارش کمتر یا نواحی اقلیمی خشک‌تر نتایج قابل قبولی ارائه ندهند. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد محققین برای رسیدن به نتایج مطلوب روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مانند (تابع توزیع تجمعی، تابع توزیع احتمال، یا تابع انتقال) را با یکدیگر مقایسه و مناسب‌ترین روش را برای منطقهٔ مورد مطالعهٔ خود انتخاب نمایند.

کتاب‌نامه

۱. آذری، م؛ مرادی، ح؛ ثقفیان، ب؛ فرامرزی، م.(۱۳۹۲). ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضهٔ آبخیز گرگانرود. *نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳(۲۷)، ٥٤۷-٥۳۷.

۲. اسکانی‌کزازی، غ. (۱۳۹٥). شبیه‌سازی اثرات تغییراقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کارون بزرگ و مدیریت بحران (مورد شهر اهواز). *فصل‌نامهٔ علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۱(۷)، ۲٤۲-۲۳٥.

۳. توکلی، م؛ کریمی، ح؛ نورالهی، ه. (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزهٔ آبخیز سد ایلام. *نشریهٔ علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، (۲)، ۱۷۰- ۱٥۷.

٤. جهانگیر، م؛ نوروزی، ا؛ یاراحمدی، ی. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد در ۲۰ سال آتی با استفاده از مدل HadCM3. *اکو هیدرولوژی*، (٤)، ۱۳٥۳-۱۳٤٥.

٥. حصیرچیان، م؛ ذهبیون، ب؛ خزائی، م. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما. *فصل‌نامهٔ علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۹(۳٤)، ۱۱۹-۱۰۸.

٦. خوش‌بیان، ع؛ عراقی‌نژاد، ش؛ آقاشریعتمداری، ز. (۱۳۹۸). بررسی اثرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش بر وضعیت منابع آبی حوضهٔ آبریز خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از پروژهٔ CORDEX. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۳(٥۰)،٦۲٤-٦۱٦.

۷. سیدکابلی، ح. (۱۳۹٥). تصویرسازی دمای هوا و تبخیر از مخازن آب، در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعهٔ موردی : سد دز). *مجلهٔ پژوهش آب ایران*، (٤)، ۱۰۱-۱۱۰.

۸. قدمی، م؛ سلطانی، س؛ گودرزی، م؛ نادری، س.؛ تیموری، ح. (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه در حوضهٔ رودخانه سزار. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*،(٤۱)، ۹٥-۸٥.

۹. کامیار، ا؛ موحدی، س؛ یزدان‌پناه، ح. (۱۳۹٦). چشم‌انداز دمای کمینه و بیشینهٔ استان اصفهان در افق ۲۰٥۰-۲۰۱۷. *نشریهٔ پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، (۲۹) ۸، ٥٤ – ۳۷.

۱۰.کامیار، ا؛ یزدان‌پناه، ح؛ موحدی، س. (۱۳۹۷). ارزیابی دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، (٥۰) ۱، ۱۷٦ – ۱٦۱.

۱۱.موسوی، ر؛ معروفی، ص. (۱۳۹٥). بررسی پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه به تغییر اقلیم (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز سد دز). *نشریهٔ پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، (٦) ۲۳، ۳٤۸ – ۳۳۳.

۱۲. نادری، س؛ گودرزی، م؛ قدمی دهنو، م. (۱۳۹٦). اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوزهٔ سیمره. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، (۳۹)، ۷٦-٦۹.

۱۳. نصیری، ب؛ یارمرادی، ز. (۱۳۹٦). پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM. *فصل‌نامهٔ علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی(سپهر)*، ۲٦(۱۰۱)، ۱۵٤-۱٤۳.

۱٤. نیکبخت شهبازی، ع. (۱۳۹۷). بررسی میزان تغییرات بارش و تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در استان خوزستان تحت تأثیر تغییر اقلیم. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، (٦)، ۱۳۹ – ۱۲۳.

15. Abiodun, B. J., Adegoke, J., Abatan, A. A., Ibe, C. A., Egbebiyi, T. S., Engelbrecht, F., & Pinto, I. (2017). Potential impacts of climate change on extreme precipitation over four African coastal cities. *Climatic Change*, *143*(3-4), 399-413.

16. Aich, V., Akhundzadah, N., Knuerr, A., Khoshbeen, A., Hattermann, F., Paeth, H., & Paton, E. (2017). Climate change in Afghanistan deduced from reanalysis and coordinated regional climate downscaling experiment (CORDEX) - South Asia simulations. *Climate*, *5*(2), 1-25.

17. Brekke, L. D., Dettinger, M. D., Maurer, E. P., & Anderson, M. (2008). Significance of model credibility in estimating climate projection distributions for regional hydroclimatological risk assessments. *Climatic Change*, *89*(3-4), 371-394.

18. Endris, H. S., Omondi, P., Jain, S., Lennard, C., Hewitson, B., Chang'a, L., & Panitz, H. J. (2013). Assessment of the performance of CORDEX regional climate models in simulating East African rainfall. *Journal of Climate*, *26*(21), 8453 - 8475.

19. Fuentes-Franco, R., Coppola, E., Giorgi, F., Pavia, E. G., Diro, G. T., & Graef, F. (2015). Inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America and its relationship to sea surface temperature from a set of future projections from CMIP5 GCMs and RegCM4 CORDEX simulations. *Climate Dynamics*, *45*(1-2), 425-440.

20. Fuhrer, J. (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO2, ozone, and global climate change. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 97, 1–20.

21. Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, *World Meteorol Organ (WMO) Bull*, *58*, 175-183.

22. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Summary for policymakers. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.

23.Javan, K., Nasirisaleh. F., & TaheriShahraiyni, H. (2013). The influences of climate change on the runoff Gharesoo River Watershed. *American Journal of Climate Change*, *2*(4), 296-305.
24.Liuzzo, L., Noto, L. V., Vivoni, E. R., & La Loggia, G. (2010). Basin-scale water resources assessment in Oklahoma under synthetic climate change scenarios using a fully distributed hydrologic model. *Journal of hydrologic engineering*, 15(2), 107-122.
25.Ouyang, F., Zhu, Y., Fu, G., Lü, H., Zhang, A., Yu, Z. and Chen, X. (2015). Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *29*(7), 1781-1795.
26.Ozturk, T., Turp, M. T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2017). Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4. 3.5. *Atmospheric Research*, *183*, 296 - 307.
27.Ozturk, T., Turp, M. T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2018). Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4. 4. *Atmospheric Research*, *206*, 87-107.
28.Pierce, D. W., Barnett, T. P., Santer, B. D., & Gleckler, P. J. (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(21), 8441-8446.
29.Saeed, F., Almazroui, M., Islam, N., & Khan, M. S. (2017). Intensification of future heat waves in Pakistan: a study using CORDEX regional climate models ensemble. *Natural Hazards*, 87(3), 1635 - 1647. 53446903
30.Sanjay, J., Krishnan, R., Shrestha, A. B., Rajbhandari, R., & Ren, G. Y. (2017). Downscaled climate change projections for the Hindu Kush Himalayan region using CORDEX South Asia regional climate models. *Advances in Climate Change Research*, *8*(3), 185-198.
31.Seager, R., Ting, M., Held, I., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G., & Li, C. (2007). Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science*, *316*(5828), 1181 - 1184.
32.Shongwe, M. E., Lennard, C., Liebmann, B., Kalognomou, E. A., Ntsangwane, L., & Pinto, I. (2015). An evaluation of CORDEX regional climate models in simulating precipitation over Southern Africa. *Atmospheric Science Letters*, *16*(3), 199-207.
33.Taylor, K. E., Ronald, J. S. & Gerald A. M. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(4), 485-498.
34.Taylor, K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, Journal of Geophysical Research: *Atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.
35.Terando, A., Keller, K., & Easterling, W. E. (2012). Probabilistic projections of agro-climate indices in North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D8).

36. Warnatzsch, E. A., & Reay, D. S. (2019). Temperature and precipitation change in Malawi: Evaluation of CORDEX-Africa climate simulations for climate change impact assessments and adaptation planning. *Science of the Total Environment*, *654*, 378-392.
37. Wilks, D.S.(2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic Press.
38. Zhange, J. Y., Wang, G. Q., He, R. M., & Liu, C. S. (2009). Variation trends of runoffs in the Middle Yellow River Basin and its response to climate change. *Adventure Water Sciences. 20*, 153-158.